

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 103 00 134.4

**Anmeldetag:** 7. Januar 2003

**Anmelder/Inhaber:** Robert Bosch GmbH, Stuttgart/DE

**Bezeichnung:** Verfahren und Vorrichtung zum Laserbohren

**IPC:** B 23 K 26/38

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 2. Dezember 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident

Im Auftrag

Letang

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED  
BUT NOT IN COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

5

### Verfahren und Vorrichtung zum Laserbohren

#### Beschreibung

10

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Laserbohren nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 und eine entsprechende Vorrichtung nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 8.

15

#### Stand der Technik

In Düsen von Kraftstoffeinspritzsystemen werden herkömmlicherweise Präzisionskleinstlöcher mittels Erodierverfahren eingebracht. Mittels dieser Technik können derzeit in Großserien minimale Durchmesser von etwa 120  $\mu\text{m}$  hergestellt werden. Das Laserbohren ermöglicht darüber hinaus auch die Herstellung von Präzisionslöchern mit Durchmessern kleiner als 120  $\mu\text{m}$ , ist aber als Großserienverfahren bisher noch nicht eingeführt.

Auf dem Gebiet der Kraftstoffeinspritzung werden in zunehmendem Maße konische Löcher dahingehend gefordert, dass eine Kraftstoffaustrittsöffnung einen kleineren Durchmesser besitzt als eine Kraftstoffeintrittsöffnung. Derartige Präzisions-Kleinstlöcher kommen bereits in Systemen für Dieselkraftstoffe (Direkteinspritzung) oder für Benzinkraftstoffe (Saugrohr- und Direkteinspritzung) zur Anwendung.

In der DE 199 055 71 C1 ist ein Laserbohrverfahren dargelegt. Hierbei führt ein Laserstrahl relativ zu einem Werkstück eine Taumelbewegung aus. Dadurch wird erreicht, 5 dass innerhalb des Werkstücks eine Kegelmantelfläche durchlaufen wird. Die Polarisationsebene des Laserstrahls wird dabei synchron zur Taumelbewegung gedreht.

In der DE 100 548 53 A1 ist ein Verfahren zum Einbringen 10 eines Mikrolochs in ein Werkstück mittels Laserstrahls offenbart. Hierbei wird der Fokus des Laserstrahls fortlaufend auf einer zur Lochachse konzentrischen Kreisbahn entlang bewegt, wobei der Laserstrahl aus einer Folge von kurzen Laserpulsen zusammengesetzt ist.

15 Bei allen bisherigen Bohrprozessen muss die erzeugte Bohrung durch hydroerosives (HE) Runden nachbehandelt werden. Dies dient beispielsweise bei Kraftstoffeinspritzsystemen (neben der Verbesserung der 20 Bohrwandoberfläche und der Verringerung der Streuung zwischen den hydraulischen Durchsätzen der einzelnen Bohrlöcher einer Düse) vor allem der Verrundung der Kante des Kraftstoffeinlaufs. Dies führt zu einer deutlichen 25 Verminderung des Strömungswiderstandes an dieser Stelle und vermindert außerdem unerwünschte Kavitationserscheinungen.

30 Eine weitere deutliche Verbesserung in dieser Richtung wird durch die Kombination von Konizität und ausgeprägter HE-Verrundung erreicht.

Mit der Erfindung soll während des Bohrprozesses mit Kurzpuls- (ns) oder Ultrakurzpuls- (ps/fs) Lasern gezielt der Verlauf des Austritts der Bohrung (Kraftstoffeinlauf) beeinflusst werden. Insbesondere soll eine einfache und

unaufwendige Bereitstellung verschiedener symmetrischer und asymmetrischer Austrittsverläufe, beispielsweise mit Ausweitungen und Ausbauchungen realisiert werden.

5 Dieses Ziel wird erreicht mit einem Verfahren zum Laserbohren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 sowie einer entsprechenden Vorrichtung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 8.

10 Vorteil der Erfindung

Bei dem erfindungsgemäß vorgesehenen Verfahren zum Laserbohren wird ein Bereich eines Bauteils mit einem Laserstrahl beaufschlagt, wobei innerhalb dieses Bereiches 15 ein Loch erzeugt wird. Diese Beaufschlagung bzw. Bohrung wird unter einer einstellbaren Prozessgasatmosphäre durchgeführt. Aufgrund einer Wechselwirkung zwischen dem verwendeten Laserstrahl und dem gewählten Prozessgas innerhalb des von dem Laserstrahl beaufschlagten Bereiches 20 bzw. Loches wird dabei durch Ionisierung des Prozessgases Plasma gebildet. Zusätzlich ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass an einer durch den Laserstrahl erzeugten Austrittsöffnung des Loches ein Backing angeordnet wird.

25 Das erfindungsgemäß verwendete Prozessgas bzw. Gasgemisch dient primär der Steigerung der Bearbeitungsqualität sowie einer Optimierung der Bearbeitungszeit, insbesondere einer Verkürzung der Bearbeitungszeit. Hierbei wird durch die Schaffung spezieller Prozessgastmosphären indirekt Einfluss 30 auf die Laserstrahl-Materie-Wechselwirkung im beaufschlagten Bereich bzw. Loch und somit auf den Bearbeitungsprozess genommen. Die Art der Prozessgasatmosphäre bestimmt die Eigenschaften der sich erfindungsgemäß bildenden Plasmen bei der Wechselwirkung

mit der eingesetzten Laserstrahlung mit dem zu bearbeitenden Material bzw. Werkstoff, wobei die Plasmabildung durch Materialdampf unterstützt wird. Als Laser kommt beispielsweise ein Festkörperlaser (Nd:YAG) zum Einsatz. Verschiedene Prozessgase erzeugen jeweils Plasmen, die sich z. B. in ihrer Temperatur und Expansion unterscheiden können.

Als Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens ist insbesondere zu erwähnen, dass für die Herstellung von Verrundungen die Prozesszeit des HE-Rundens deutlich herabgesetzt werden kann, bzw. dass HE-Runden gar nicht mehr erforderlich ist. Außerdem können durch das erfindungsgemäße Verfahren Kraftstoffeintritte in einer Art gestaltet werden, wie dies das HE-Runden nicht erlaubt. Insbesondere können durch das erfindungsgemäße Verfahren asymmetrische Verrundungen eingebracht werden oder symmetrische respektive asymmetrische Ausbauchungen kurz hinter dem Kraftstoffeintritt erzeugt werden. Verrundungen haben den Vorteil eines verbesserten Einströmverhaltens während Ausbauchungen dazu dienen können, Verwirbelungen, die am Kraftstoffeintritt entstehen können, zu verhindern oder auch gezielt zu erzeugen.

Bedeutsam für die gezielte Gestaltung des Austritts ist insbesondere der Plasmazustand kurz vor und während des Wiederaustritts des Laserstrahls aus dem Material. Je nach den gewählten Parametern wie Gaszusammensetzung, Gasdruck und/oder Gasströmungsrichtung können sich Verrundungen, Ausbauchungen und/oder scharfe Austrittskanten ausbilden, wobei dies rotationssymmetrisch gleichmäßig über den gesamten Bohrlochaustritt erfolgen kann, oder die Phänomene nur auf einer Seite auftreten können.

Rückraumschutzmaterialien, sogenannte Backings haben die Aufgabe, eine freie Propagation des Laserstrahls nach seinem Wiederaustritt aus dem Werkstoff bzw. Material zu verhindern. Dies kann herkömmlicherweise dazu dienen, ein 5 anderes Werkstück bzw. Bauteil oder Bereiche desselben Werkstücks vor Beschädigung zu schützen. Außerdem können derartige Backings den Zustand eines geschlossenen Bohrlochs für eine bestimmte Zeit aufrechterhalten und somit dazu beitragen, dass eine Austrittsöffnung bzw. ein 10 Bohrungsaustritt wie gewünscht entstehen kann.

Backings bestehen je nach Anwendungsfall aus verschiedenen Materialien, wie z. B. Polymeren, Metallen oder keramischen Werkstoffen.

15 Ein Backing kann die Ausbildung eines Bohrlochaustrittes beeinflussen, indem es die ankommende Laserstrahlung zurück in Richtung Werkstoff reflektiert oder indem es das aus dem Prozessgas ionisierte Plasma in seiner Ausbreitung 20 beeinflusst und somit zu einem weiteren Materialabtrag führt. Einen weiteren Einfluss kann ein Plasma haben, das gegebenenfalls durch den Abtrag des Backings entsteht.

25 Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind Gegenstand der Unteransprüche.

Bei dem Verfahren wird als Prozessgas zweckmäßigerweise ein 30 inertes Gas, wie Stickstoff, insbesondere unter Zusatz von Edelgasen wie Helium, Argon und dergleichen verwendet. Der Einsatz eines derartigen Prozessgases hat zum Vorteil, dass ein zu beaufschlagender Bereich inert wird, so dass eine Oxidation dieses Bereiches vermieden wird. Außerdem wird durch eine derartige Zusammensetzung des Prozessgases

erreicht, dass hinreichende Bohrwandoberflächenqualitäten und Schmelzfilmdicken gewährleistet sind.

Desweiteren ist bevorzugt vorgesehen, dass das Prozessgas unter Druck gesetzt ist, wobei der Druck bevorzugt unter etwa 1,5 bar eingestellt ist. Hierdurch wird die Entstehung von Ausbauchungen in den hergestellten Löchern begünstigt. Es ist ebenfalls möglich, höhere Drücke zu wählen, wodurch Ausbauchungen unterdrückt werden können. Allgemein ist festzustellen, dass die erfindungsgemäß verwendeten Drücke zu Ausbauchungen in der Nähe des Randbereiches des zu bearbeitenden Werkstücks führen. Je höher der verwendete Druck, desto tiefer verlagert sich eine Ausbauchung in das Innere des Werkstücks.

Desweiteren kann bevorzugt vorgesehen sein, die Beaufschlagungsrichtung des Prozessgases durch Verkippung relativ zur Richtung des Laserstrahles einzustellen. Der Winkel der Verkippung kann hierbei insbesondere zwischen 0° und 15° liegen. Durch geeignete Wahl eines Verkippungswinkels wird gewährleistet, dass Lochformen, insbesondere Ausbauchungen oder Aufweitungen, verschieden stark asymmetrisch ausgebildet werden können.

Durch die bei der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens gebildeten Plasmen können errechnete Drücke in der Größenordnung einiger 100 bar und Strömungsgeschwindigkeiten von mehreren 10 km/s in dem beaufschlagten Bereich bzw. Loch entstehen. Dies hat vorteilhafterweise zur Folge, dass unter anderem durch ein beschleunigtes Ausbringen einer dadurch entstehenden Schmelze zu einem höheren Materialabtrag aktiv beigetragen wird.

Die Ionisation des Prozessgases kann, außer von den herrschenden Einbringungsbedingungen des Prozessgases (Zusammensetzung, Druck, Richtung), insbesondere auch durch Eigenschaften des Laserstrahls wie Wellenlänge und Leistung 5 beeinflusst sein.

Ein hierbei zum Einsatz kommendes Backing kann thermische bzw. optische Eigenschaften aufweisen, die die Form bzw. Ausgestaltung der Austrittsöffnung beeinflussen.

10 Insbesondere ist hierbei vorgesehen, geeignete metallische Werkstoffe, insbesondere Kupfer, vorzusehen. Diese Materialeigenschaften sind insbesondere für das Maß der Aufweitung der Austrittsöffnung von Bedeutung. So entstehen beispielsweise bei Laserwellenlängen von 1064  $\mu\text{m}$  und einem 15 in geeignetem Abstand zur Austrittsöffnung angeordneten Backing aus Kupfer relativ große, hingegen bei einem Backing aus Stahl relativ kleine Aufweitungen. Des Weiteren kann die Geometrie des Backings die Form bzw. Ausgestaltung der Austrittsöffnung beeinflussen. Erfindungsgemäß wird 20 insbesondere die Verwendung von Kupfer als Backingmaterial bevorzugt. Es sei darauf hingewiesen, dass Kupfer in der Regel im Bereich des Motorenbau ungern verwendet wird, da es im Falle von Kupferablagerungen im Motorbereich aufgrund 25 von Wechselwirkungen mit im verwendeten Kraftstoff vorhandenen Schwefel zur Sulfidbildung kommen kann, wodurch die Langlebigkeit des Motors negativ beeinflusst wird. Die im Rahmen der vorliegenden Erfindung ausnutzbaren Eigenschaften des Kupfers im Zusammenhang mit der Erzeugung von speziell ausgebildeten Löchern in Werkstücken 30 überwiegen diese Nachteile jedoch deutlich.

Des Weiteren kann bevorzugt vorgesehen sein, das Backing in einem die Form der Austrittsöffnung beeinflussenden Abstand

zur Austrittsöffnung anzuordnen. Ein solcher Abstand wird bevorzugt zwischen 20  $\mu\text{m}$  bis 200  $\mu\text{m}$  gewählt.

5 Durch eine geeignete Wahl eines solchen Abstandes lässt sich die Geometrie der Aufweitung des Bohrlochaustritts in einfacher Weise beeinflussen.

10 Das Backing kann durch Verkippung relativ zur Austrittsöffnung unter einem vorgegebenen Winkel angeordnet sein. Unterschiedlich stark gewählte Verkippungen erzeugen hierbei unterschiedlich stark asymmetrische Aufweitungen der Austrittsöffnung des Bohrlochs. Hierbei bevorzugt zur Anwendung kommende Winkel bewegen sich zwischen 0° und 20°.

15 Insbesondere durch eine geeignete Wahl der Ausbildung des Backings bzw. der Anordnung des Backings relativ zur Austrittsöffnung können in einem Bereich der Austrittsöffnung eines Loches in einfacher Weise symmetrische bzw. asymmetrische Verrundungen eingebracht 20 werden, was zum Vorteil hat, dass ein nachträgliches HERunden gar nicht mehr oder nur in begrenztem Umfang erforderlich ist.

25 Die erfindungsgemäße Vorrichtung, mit welcher insbesondere das erfindungsgemäße Verfahren durchführbar ist, zeichnet sich dadurch aus, dass sie einen Laserstrahl, eine Haltevorrichtung für ein zu bearbeitendes Bauteil und Mittel zur Einstellung einer Prozessgasatmosphäre aufweist.

30 Als Mittel zur Einstellung der Prozessgasatmosphäre kann bevorzugt wenigstens eine Gasdüse vorgesehen sein. Hiermit ist strömendes Prozessgas geeigneter Zusammensetzung in einfach zu steuernder bzw. regelnder Weise unter geeignetem Druck sowie einem geeigneten Winkel auf den zu

beaufschlagenden Bereich eines Werkstücks richtbar. Eine geeignete Zusammensetzung des Prozessgases kann durch einen Gasmischer bereitgestellt werden.

5 Ergänzend kann hierzu erfindungsgemäß vorgesehen sein, die Vorrichtung so auszugestalten, dass an einer am Bauteil durch Einwirkung des Laserstrahls erzeugten Austrittsöffnung ein Backing positionierbar ist.

10

Zeichnung

Die vorliegende Erfindung wird nun anhand der beigefügten Zeichnung weiter erläutert. In dieser zeigt bzw. zeigen

15

Figur 1 eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Laserbohrverfahrens,

20 Figur 2 ein Detail der Vorrichtung gemäß Figur 1 in vergrößerter Darstellung,

25 Figur 3a bis Figur 3e schematische Darstellungen von erfindungsgemäß hergestellten Bohrlöchern in seitlicher Schnittansicht, und

30 Figuren 4a bis 4c schematische Darstellungen von erfindungsgemäß hergestellten Bohrlöchern in seitlicher Schnittansicht bzw. in Draufsicht auf der Grundlage elektronenmikroskopischer Aufnahmen.

In Figur 1 ist die dargestellte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung insgesamt mit 100 bezeichnet. Ein durch einen Laser 31 erzeugter Laserstrahl 30

durchquert zunächst eine Aufweitungsoptik 32. Der Laserstrahl 30 wird an einem Shutter 34 teilweise reflektiert bzw. geschaltet, wobei hierbei gestreute bzw. überschüssige Reststrahlung durch einen Strahlsumpf 33 5 absorbiert wird. Die Richtung des Laserstrahls 30 wird innerhalb seines Strahlenganges durch einen oder mehrere Spiegel 37 umgelenkt. Innerhalb des Strahlenganges ist außerdem eine Trepanieroptik 35 angeordnet, außerdem weist die Vorrichtung zur Fokussierung des Laserstrahls eine 10 Fokussierlinse 36 auf. Des Weiteren tritt der Strahlengang des Laserstrahl 30 durch eine Gasdüse 12 hindurch und trifft auf ein zu bearbeitendes Werkstück 40.

Das zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens 15 benötigte Prozessgas wird durch einen Gasmischer 11 bereitgestellt und über eine Leitung 11a auf eine Gasdüse 12 gegeben. Das Prozessgas wird mit Hilfe der Gasdüse 12 unmittelbar auf das Werkstück 40 geblasen.

20 Das Werkstück 40 ist in einer Handhabung 50 befestigt. Diese Handhabung 50 kann durch geeignete Maßnahmen in alle drei Raumrichtungen x, y bzw. z bewegt werden, so dass eine für die Durchführung des Verfahrens geeignete Positionierung des Werkstückes 40 einstellbar ist. Durch 25 Positionierung der Fokussierlinse 36 entlang der Achse z kann der Laserstrahl 30 in seiner Fokuslage variiert werden. Ebenso lässt sich die Gasdüse 12 relativ zu der Richtung des durch die Gasdüse 12 gehenden Strahlenganges des Laserstrahls 30 bzw. zum Werkstück 40 positionieren. 30 Dabei erfolgt eine Bewegung entlang der Richtung x bzw. y. Auch eine Verdrehung der Gasdüse 12 ist mittels eines geeigneten Mechanismus realisierbar, wobei eine derartige Verschwenkbarkeit in Figur 1 mit  $\phi$  symbolisiert ist.

Mit dieser Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung 100 ist das erfindungsgemäße Verfahren zum Laserbohren in einfacher Weise realisierbar. Innerhalb eines zu beaufschlagenden Bereiches trifft der Laserstrahl 30, nachdem sein Strahlengang die Gasdüse 12 durchquert hat, auf das Werkstück 40. Ein gewähltes bzw. eingestelltes Prozessgas strömt, mittels des Gasmischers 11 bereitgestellt, aus einer einstellbaren Richtung, unter Druck aus der Düse 12 auf den zu beaufschlagenden Bereich des Werkstücks 40. Insbesondere wird hiermit die Ionisation von Prozessgas zu Plasma durch Wechselwirkung zwischen Prozessgas und Laserstrahl 30 innerhalb des Beaufschlagungsbereiches begünstigt.

In Figur 2 ist ein Detail aus Figur 1 dargestellt. Das Werkstück 40 ist über eine Halterung 51 relativ zur Handhabung 50 fest positionierbar, wobei eine geeignete Position des Werkstücks 40 relativ zur Handhabung 50 über die Halterung 51 durch Bewegung einstellbar ist. Ebenso ist ein Backing 20 über eine Halterung 52 relativ zur Handhabung 50 fest positionierbar, wobei eine geeignete Position des Backings 20 relativ zur Handhabung 50 über die Halterung 52 durch Bewegung einstellbar ist. Durch Steuerung der Halterung 51 bzw. 52 lassen sich Backing 20 und Werkstück 40 in einer gewünschten Weise relativ zueinander räumlich positionieren, wobei dies vor aber auch während des beschriebenen Verfahrens realisiert werden kann.

Ein mittels des Laserbohrverfahrens in dem Werkstück 40 zu erzeugendes Loch 44 entsteht an der Stelle des Werkstückes 40, an der der Laserstrahl 30 auf dem Werkstück 40 auftrifft bzw. dieses beaufschlägt, wobei der Laserstrahl an einer Austrittsöffnung 43 des Loches 44 an der dem

Backing 20 zugewandeten Seite des Werkstücks 40 austritt. Das in einem geeigneten Winkel aus einem geeigneten Abstand aus einer nicht dargestellten Gasdüse auf das Werkstück 40 geblasene Prozessgas wird durch Wechselwirkung mit dem 5 Laserstrahl 30 im Bereich des Lochs 44 bzw. einem Bereich der Austrittsöffnung 43 durch Wechselwirkung zu Plasma ionisiert.

10 Hierdurch entstehen gezielt geometrische Ausgestaltungen im Bereich des Loches 44 bzw. der Austrittsöffnung 43, wie nun anhand nachfolgender Figuren beispielhaft dargestellt wird.

15 Die Figuren 3a bis 3e zeigen detaillierte Ansichten von Löchern bzw. Bohrungen 44 innerhalb des Werkstückes 40 in einer Schnittansicht parallel zu einer Bohrungsmittelachse 46 des Loches 44. Ein nicht dargestellter Laserstrahl 30 wurde dabei von links parallel zur Bohrlochmittelachse 46 auf das Werkstück 40 gerichtet, in dem Bereich seines Auftreffens durchbohrte der Laserstrahl 30 das Werkstück 20 40, wobei der Ort des Eintritts in den Figuren 3a bis 3e nicht dargestellt ist. Die jeweiligen Austrittsöffnungen 43 der Löcher 44 sind in den Figuren 3a bis 3e erkennbar.

25 In Figur 3a weist ein Bereich der Austrittsöffnung 43 des Bohrlochs 44 eine symmetrische Aufweitung 41 bzw. Verrundung auf, welche durch vorzugsweise symmetrische Anordnung eines nicht dargestellten Backings bzgl. der Bohrungsmittelachse 46 innerhalb eines Bereiches hinter, in der Darstellung der Figuren 3a bis 3e rechts neben, der 30 Austrittsöffnung 43 verursacht wurde. Das Maß dieser Aufweitung 41 bzw. Verrundung ist durch geeignete Beabstandung des Backings relativ zur Austrittsöffnung 43 beeinflussbar.

In Figur 3b ist die Aufweitung 41 eines Bereiches der Austrittsöffnung 43 des Bohrloches 44 asymmetrisch ausgebildet bzw. nur einseitig verrundet. In diesem Beispiel wurde das erfindungsgemäße Verfahren so 5 durchgeführt, dass das Backing unter Verkipfung unter einem geeigneten Winkel zur Bohrlochmittelachse 46 in einem Bereich hinter der Austrittsöffnung 43 angeordnet wurde.

Bohrloch 44 aus Figur 3c weist symmetrische bzw. 10 beidseitige Ausbauchungen 42 in einem Bereich der Austrittsöffnung 43 des Loches 44 auf. Eine derartige Ausbauchung 42 ist beispielsweise durch die beschriebene Wechselwirkung zwischen Laserstrahl und gebildetem Plasma realisierbar.

15 Das in Figur 3d dargestellte Bohrloch 44 weist eine asymmetrische Ausbauchung 42 auf. Eine derartige asymmetrische Ausbildung der Ausbauchung 42 wird durch Verkipfung einer das Prozessgas einleitenden Düse unter 20 einem geeigneten Winkel relativ zur Bohrlochmittelachse 46 bzw. dem Laserstrahl begünstigt.

25 In Figur 3e ist das Bohrloch 44 derart ausgestaltet, dass es eine Kombination aus Aufweitung 41 sowie Ausbauchung 42 in einem Bereich der Austrittsöffnung 43 aufweist. Eine derartige Gestaltung ist durch Kombination der oben beschriebenen Maßnahmen (Verkipfung des Backings und Prozessgasbeaufschlagung unter einem Winkel) realisierbar.

30 In den Figuren 4a bis 4c sind weitere Ausgestaltungen von durch das erfindungsgemäße Verfahren innerhalb eines Werkstückes 40 erzeugten Löchern 44 bzw. erzeugten Austrittsöffnungen 43 im Längsschnitt bzw. in Draufsicht dargestellt.

Figur 4a zeigt zwei verschiedene Formen von Ausbauchungen 42 im Längsschnitt. Des Weiteren sind durch Beaufschlagung des Werkstücks durch einen von links auftreffenden 5 Laserstrahl erzeugte Eintrittsöffnungen 45 dargestellt, die einen kleineren Durchmesser als die Austrittsöffnungen 43 rechts aufweisen. Im oben dargestellten Loch 44a ist die Ausbauchung 42 analog zur Figur 3d asymmetrisch, in dem unteren Loch 44b hingegen sind analog zur Figur 3c zwei 10 symmetrische Ausbauchungen 42 dargestellt.

Die in Figur 4b dargestellte Austrittsöffnung 43 weist eine 15 asymmetrische Aufweitung 41 bzw. Verrundung auf. Diese wurde mit entsprechenden Maßnahmen, wie sie unter Bezugnahme auf Figur 3b beschrieben wurden, realisiert. Aus derselben Perspektive wie Figur 4b zeigt Figur 4c eine Austrittsöffnung 43 mit symmetrischer Aufweitung 41 bzw. 20 Verrundung, welche durch analoge Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, wie es unter Bezugnahme auf Figur 3a beschrieben wurde, realisiert.

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

5

### Ansprüche

1. Verfahren zum Laserbohren, bei welchem ein Bereich eines Werkstücks (40) mit einem Laserstrahl (30) beaufschlagt wird, so dass in diesem Bereich ein Loch (44) erzeugt wird,

dadurch gekennzeichnet,

dass das Verfahren unter einer einstellbaren Prozessgasatmosphäre derart durchgeführt wird, dass aufgrund einer Wechselwirkung zwischen Laserstrahl und Prozessgas in dem vom Laserstrahl (30) beaufschlagten Bereich bzw. Loch (44) Plasma gebildet wird,

und dass an einer durch den Laserstrahl (40) erzeugten Austrittsöffnung (43) des Loches (44) ein Backing (20) angeordnet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Prozessgas ein inertes Gas, insbesondere Stickstoff, insbesondere unter Zusatz von Edelgasen wie Helium, Argon und dergleichen verwendet wird.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Prozessgas unter Druck gesetzt wird, wobei das Prozessgas insbesondere unter einen Druck von maximal 1,5 bar gesetzt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Beaufschlagungsrichtung des

Prozessgases durch Verkippung relativ zur Richtung des Laserstrahls (30) eingestellt wird, wobei der Winkel der Verkippung insbesondere bis zu 15° beträgt.

5

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass ein für das Backing (20) verwendetes Material mit die Form der Austrittsöffnung (43) beeinflussenden thermischen und/oder optischen 10 Eigenschaften (4), insbesondere ein metallischer Werkstoff, insbesondere ein kupferenthaltender Werkstoff, ausgewählt wird.

10

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Backing (20) in einem die Form der Austrittsöffnung (43) beeinflussenden Abstand zur Austrittsöffnung (43) und/oder dem Werkstück (40) angeordnet ist, wobei der Abstand bevorzugt zwischen 20 µm bis 200 µm beträgt.

20

7. Verfahren nach einem der Ansprüchen 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Backing (20) durch Verkippung unter einem bestimmten, die Form der Austrittsöffnung (43) beeinflussenden Winkel zur Austrittsöffnung und/oder dem 25 Werkstück (40) angeordnet ist, wobei der Winkel der Verkippung insbesondere bis zu 20° beträgt.

25

8. Vorrichtung zum Laserbohren, mit welcher ein Bereich eines Werkstücks (40) mit einem Laserstrahl (30) zur 30 Erzeugung eines Loches (44) beaufschlagbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung Mittel (11,12) zur Einstellung einer Prozessgasatmosphäre in dem vom Laserstrahl (30) beaufschlagten Bereich und/oder Loch (44) derart, dass es aufgrund einer Wechselwirkung zwischen

Laserstrahl (44) und Prozessgas zu einer Bildung von Plasma in dem von dem Laserstrahl beaufschlagten Bereich bzw. Loch (44) kommt, und ein an einer Austrittsöffnung (43) eines erzeugten Loches (44) positionierbares Backing (20) 5 aufweist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel (11,12) zur Einstellung einer Prozessgasatmosphäre wenigstens eine Gasdüse (12) 10 aufweisen.

15

20

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

5 Zusammenfassung

Verfahren und Vorrichtung zum Laserbohren, wobei die geometrische Ausbildung der Bohrlochwandung durch Wechselwirkung zwischen Laserstrahl und einem zugeführten 10 Prozessgas, welches hierbei zu Plasma ionisiert wird, beeinflusst wird. Des Weiteren wird die Austrittsöffnung des Bohrlochs durch eine geeignete Anordnung eines Backings beeinflusst.

1/3

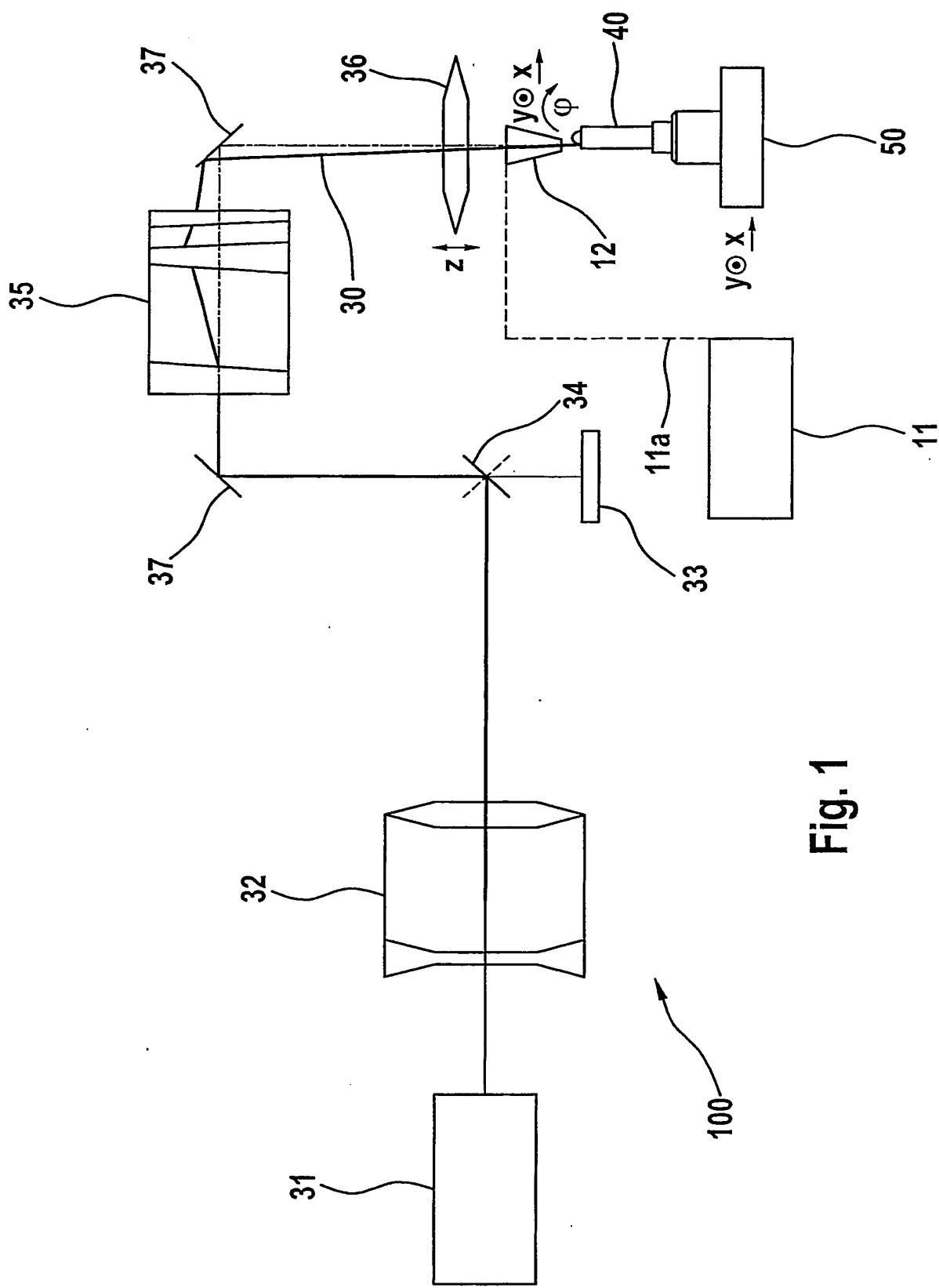


Fig. 1

2/3

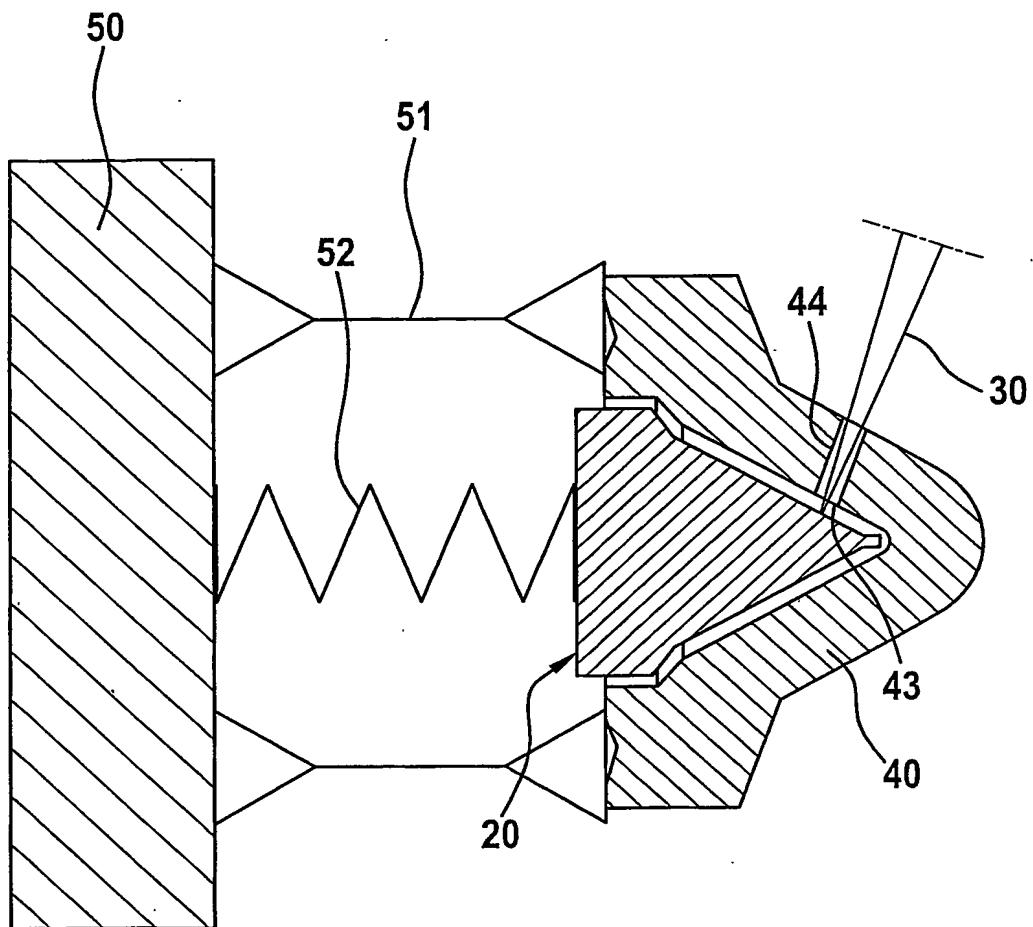


Fig. 2

3/3

Fig. 3a

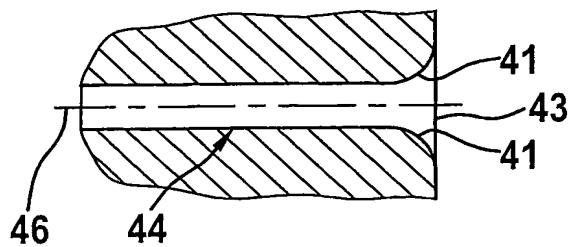


Fig. 3c

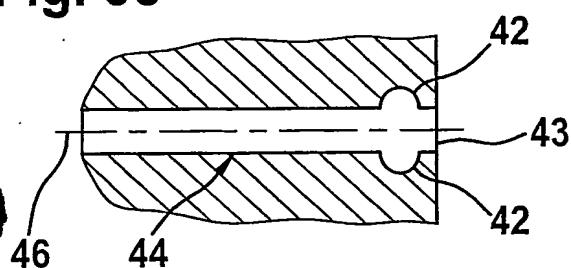


Fig. 3b

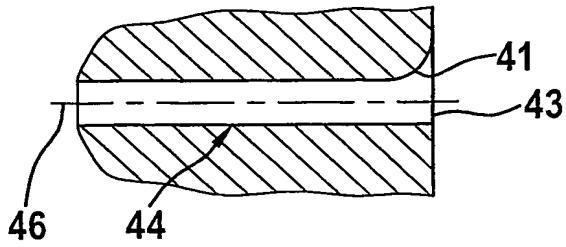


Fig. 3d

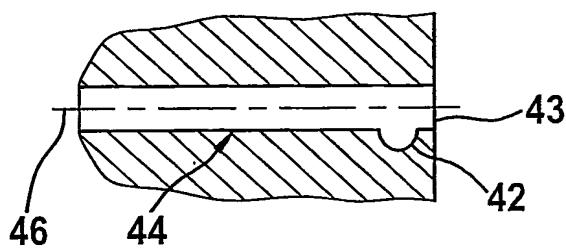


Fig. 3e

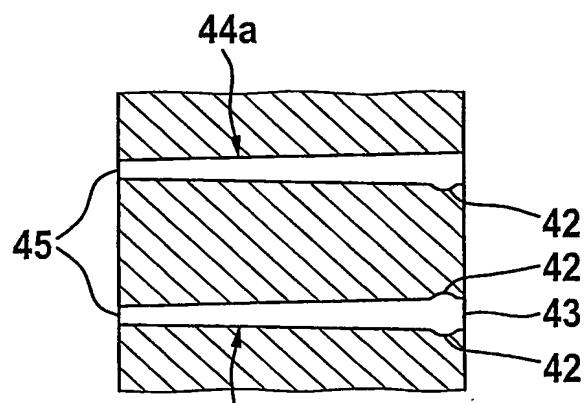
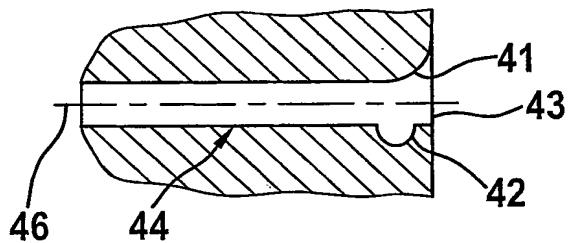


Fig. 4a

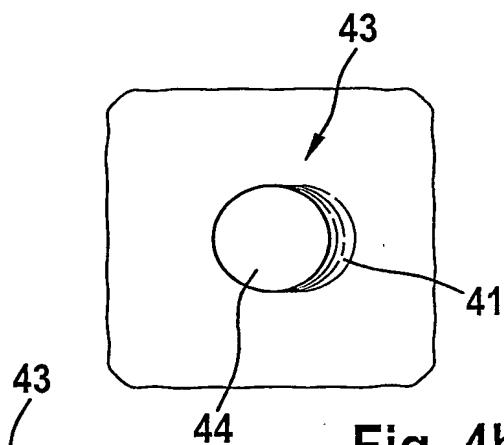


Fig. 4b

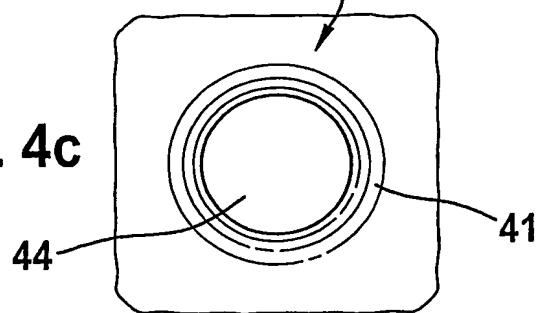


Fig. 4c